

# 半導体ナノクリスタルの永続的ホールバーニングメモリーの研究

著者	舩本 泰章
発行年	2000
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/365">http://hdl.handle.net/2241/365</a>

# 半導体ナノクリスタルの 永続的ホールバーニングメモリーの研究

(研究課題番号 10554011)

平成 10 年度～平成 11 年度科学研究費補助金（基盤研究（B））

研 究 成 果 報 告 書

平 成 12 年 3 月

研究代表者 舩 本 泰 章

(筑波大学物理学系教授)

# 半導体ナノクリスタルの 永続的ホールバーニングメモリーの研究

(研究課題番号 10554011)

平成 10 年度～平成 11 年度科学研究費補助金（基盤研究（B））

研 究 成 果 報 告 書

平 成 12 年 3 月

研究代表者 舛 本 泰 章

(筑波大学物理学系教授)

平成 10 年度～平成 11 年度科学研究費補助金（基盤研究（B））

半導体ナノクリスタルの永続的ホールバーニングメモリーの研究

（研究課題番号 10554011）

研究組織

研究代表者 舩本泰章 （筑波大学物理学系教授）

研究経費

平成 10 年度	9, 2 0 0 千円
平成 11 年度	3, 5 0 0 千円
計	1 2, 7 0 0 千円

# 半導体ナノクリスタルの永続的ホールバーニングメモリーの研究

筑波大学物理学系教授 舩本 泰章

## 1. 研究の背景と目的

ナノメートルサイズの半導体微結晶（ナノクリスタル）では、量子サイズ効果のため、バルク結晶とは異なった電子状態や励起子状態、格子振動が実現している。従って、これは半導体の低次元化構造の極限としての量子点とみなす事ができる。量子点は、量子井戸と量子細線の延長線上で語られることが多い。量子井戸が1次元方向への量子閉じ込め、量子細線が2次元方向への量子閉じ込め、量子点が3次元方向への量子閉じ込めとしてである。ところが量子点は、量子井戸や量子細線と異なる点がある。それは、量子点が $10^3 \sim 10^6$ 個程度の少数原子からなっている事である。数十%の原子が量子点の表面を構成し、量子点は、表面や界面、さらに外界との相互作用が極めて大きい。この為、量子点中の電子状態は、界面や周囲の状況に極めて敏感に影響されると思われる。実際、永続的ホールバーニング現象の発見により実証されてきたように、量子点の電子エネルギーは表面、界面、外界（量子点が埋め込まれたホスト）に強く影響される。量子点における永続的ホールバーニング現象の発見を受けて進められた、科学研究費基盤研究(B)研究課題「半導体ナノクリスタルの永続的ホールバーニングの研究」では、ルミネッセンスホールバーニングと量子サイズ効果を受けたイオン化励起子を発見し、併せて永続的ホールバーニングの高い形成効率を実証した。これをうけて、応用を模索する科学研究費基盤研究(B)展開研究課題「半導体ナノクリスタルの永続的ホールバーニングメモリーの研究」では、量子点における輝尽発光の発見、縦波光学フォノンのソフトニング、量子点中に閉じ込められた音響型フォノンのサイズ効果、極低温にいたる量子化された電子・励起子の均一幅を明らかにした [総説論文 3, 10]。

## 2. 研究実績の概要

### 2-1. 量子点における輝尽発光と永続的ホールバーニング

あらかじめ紫外線などによる励起を受けた蛍光体は、励起後に発光波長よりも長波長の光を照射することで発光が一時強くなることがある。この現象を輝尽発光と呼ぶ。量子点の永続的ホールバーニング現象の持つ様々な特徴から量子点の光イオン化をその機構として考えたが、「ホストにトラップされたキャリアーは長波長光の照射により、再び量子点にもどり、輝尽発光を起こすかもしれない」と考えて実験をしてみたところ、NaCl結晶中にCuCl量子点を成長させた試料を用いて、量子点において初めて輝尽発光現象を見出した [12, 20]。

輝尽発光は低温でCuCl量子点をHeCdレーザー(325nm)で励起して、量子点の界面や周囲にキャリアーをトラップさせた後、半導体レーザー(670nm)等で輝尽励起する

事で観測された。次に輝尽発光強度の励起光強度依存性、時間発展、温度依存性、波長依存性がそれぞれ測定された。これらの依存性に、量子点における輝尽性発光特性と永続的ホールバーニング特性との類似性が見られ、ホールバーニングと同様の機構（半導体量子点の表面や表面を通して母体中のトラップにキャリアが捕まる機構）が働いていると結論された。トラップ準位のエネルギーは 2.45eV 付近にあり半値全幅は 0.53eV 程度である。輝尽発光の効率と  $\text{Cu}^+$  ダイマーの濃度が強い正の相関を示すことが示され、NaCl 結晶中に含まれる一価の Cu イオン ( $\text{Cu}^+$ ) のモノマーやダイマーが正孔（または電子）のトラップとして働き、短波長励起された量子点から放出された正孔（または電子）が  $\text{Cu}^+$  に捉えられ  $\text{Cu}^{2+}$ （または  $\text{Cu}^0$ ）を経由して再び、長波長光の照射により量子点に残された電子（または正孔）と再結合発光すると結論された。

## 2-2. 永続的ホールバーニング現象の精密分光への応用

量子点の永続的ホールバーニング現象はサイト（サイズ）選択分光という精密分光への応用もある。粒径分布のため不均一に広がった量子点の吸収スペクトルの一部を選択的（波長選択＝粒径選択）に励起することによってスペクトルホールを作り、量子点中の電子・正孔、励起子の量子状態やフォノンのエネルギーのサイズ依存性を調べる詳細な研究が可能である。この手法を利用して、励起子存在下での量子点中の縦波光学フォノンのソフトニングの観測 [1, 4, 7, 11]、および量子点中に閉じ込められた音響型フォノンのサイズ効果の研究 [9, 19] が行われた。

固体中の分子やイオンの電子励起状態の振動エネルギーが電子基底状態の振動エネルギーと異なることは、ボルン・オッペンハイマー近似の結果として広く知られている。吸収と発光スペクトルに観測されるフォノン構造のエネルギーは断熱ポテンシャルの曲率の違いを反映して鏡像対称とはならない。これは、電子状態の違いで格子振動が変調を受けることを意味しているので、分子やイオンのように極めて小さな系で初めて観測される現象である。CuCl 量子点で電子励起状態にある時、基底状態にある時と比べて、縦波光学フォノンのエネルギーが 10%のソフトニングを起こしているのが永続的ホールバーニングを使って観測されたが、このことは、小さな量子点中に 1 励起子があるだけでフレーリッヒ相互作用を通じて縦波光学フォノンのエネルギーを変えてしまうという分子的振る舞いを意味してしている。

永続的ホールバーニングをサイト（サイズ）選択精密分光法として活用して、共鳴ホールの両脇に観測される音響型フォノンのサイドバンドの位置から、量子点中に閉じ込められた音響型フォノンのサイズ効果をガラス、NaCl 結晶および KCl 結晶に成長させた CuCl 量子点を題材として詳しく研究した。ガラスおよび KCl 結晶を母体とした CuCl 量子点の場合の実験結果は量子点の表面を自由端とした弾性微小球の音響型フォノンモードのサイズ依存性と見事な一致を示した。一方、NaCl 結晶を母体とした CuCl 量子点の場合のフォノンエネルギーは自由端弾性微小球に閉じ込められた音

響型フォノンのエネルギーの  $1/3$  程度で異なった境界条件が考えられる。

### 2-3. 量子化された電子・励起子の均一幅の研究

量子化された電子・励起子の均一幅は応用上は、永続的ホールバーニングメモリの波長多重度の上限を与え極めて重要である。均一幅が  $1\mu\text{eV}$  にも達すると、低温での波長多重度は、 $10^7$  にも達し、低温でも利用価値がある可能性がある。

量子化された電子・励起子の均一幅を温度依存性を  $0.6\text{ K}$  の極低温に至るまで詳しく測定するため、光学測定用ヘリウム3クライオスタットを作成しこれを用いて、量子化された電子や励起子と量子化されたフォノン、量子点界面や母体のいわゆる二準位系との相互作用を、スペクトル領域と時間領域の両面からレーザー分光法を用いて研究した。CuCl 量子点中に閉じ込められた励起子と音響型フォノンとの相互作用の特異性はすでに永続的ホールバーニングスペクトルに見出されている。実際低温では、有限なエネルギーをもつ量子化された音響型フォノンはボーズ分布から存在できず、励起子の均一幅に寄与しないで、極めて狭いゼロフォノンホールのサイドバンドとして現われてくる。温度上昇に伴い、量子化されたフォノンも活性化され、励起子の均一幅に寄与できるようになり、均一幅が広がり始める。

量子化された励起子と量子化されたフォノンの相互作用は、フェムト秒・ピコ秒チタン・サファイア・レーザーを用いた蓄積フォトンエコーにより位相緩和時間を測ることで明らかにした [6, 14, 17]。蓄積フォトンエコーの時間波形は永続的ホールバーニングスペクトルと互いにフーリエコサイン変換の関係にある。蓄積フォトンエコーから求められた位相緩和時間から、励起子の均一幅を導くこの手法の利点は、回折格子分光器を使ってスペクトル領域で測るのには無理がある  $0.1\text{ meV}$  をきるような極めて線幅の狭いスペクトルの測定に有効であることにある。 $0.1\text{ meV}$  をきるような極めて線幅の狭いスペクトルは時間領域では  $10\text{ps}$  より長い位相緩和時間に相当し、これは逆に測定しやすい。また、蓄積フォトンエコーは、蓄積効果のため、極微弱光を用いて位相緩和時間を計測でき、実際、CuCl 量子点に対し  $100\text{pJ/cm}^2$  と極微弱光を使って、 $0.7\text{ K}$  で約  $1.3\text{ ns}$  の緩和時間すなわち、 $1\mu\text{eV}$  にもなる極限的に狭い均一幅が得られた。レーザー光強度が上がると、励起子相互間の衝突緩和のため、位相緩和時間は短くなり、均一幅は広くなる。従って、レーザー光強度を下げ、位相緩和時間がもはや長くない領域で位相緩和時間を計測することは重要であり、蓄積フォトンエコーはこの困難な計測を可能にしてくれる。

低温領域での特異な温度依存性は閉じ込められた音響フォノンとの相互作用を考慮するだけでは説明できず、極低温領域でのさらに小さいエネルギー励起である二準位系 (TLS: Two Level System) の寄与の存在を示した。実際、母体をガラスにすると極低温領域で均一幅の温度依存性は異なり、異なった TLS のエネルギースペクトルを示唆する。

同様な、閉じ込められた音響フォノンや、極低温領域での TLS の寄与を示し、極めて狭いサブ meV に漸近する均一幅の温度依存性が CuBr 量子点 [8, 16] や CdSe 量子点 [5, 13, 18] においても蓄積フォトンエコーにより観測された。この様に、発光寿命に加えて、量子点中に閉じ込めを受けた音響型フォノンと量子点とこれを含む母体がなす系中の微小なエネルギー励起が低温での均一幅を決定する因子となる。

#### 2-4. 単一量子点分光で観測される間欠的発光現象

単一分子分光に続いて、最近の単一量子点分光で見い出されている間欠的発光現象（ランダム・テレグラム・ノイズ状の発光）が InP の量子点で観測され、オンやオフの頻度について励起強度依存性、温度依存性、赤色光の励起波長依存性について詳しい測定を単一量子点分光により行った [15]。半導体結晶基板上に歪により形成された InP 自己形成型量子点では、間欠的発光を示すのは、ほんの一部であるが、人為的に基板にダメージを与えると増加する。これらの特徴や、励起強度依存性、温度依存性、赤色光の励起波長依存性から二段階光吸収過程で量子点のキャリアが周囲の欠陥にトラップされ、この状況下でイオン化した量子点中では発光しなくなるとして説明を試みている。間欠的発光は、量子点の中だけで起きている現象ではなく、周囲の欠陥との間の光励起キャリアのやりとりで出現すると考えられ、永続的ホールバーニング現象や輝尽発光現象と共通の量子点の光イオン化が原因と考えられる。

#### 3. 今後の課題

ナノメートルサイズになると電子、正孔や励起子が狭い空間に閉じ込められ、運動エネルギーが量子化され、電子・正孔間に働くクーロンエネルギーが大きく増大する。この量子現象および、全原子数の数%から数十%に達する原子が構成する表面に起因する現象が量子点の本質である。この2つの本質のため、量子点が光イオン化してわずか1個の電子や正孔が量子点の周りに捉えられるだけで、敏感に量子点のエネルギーは変化してしまう事が、永続的ホールバーニングを見て考えられたが、その現象がスペクトル拡散として単一量子点分光により、今まさに見え始めている。量子点は分子のように振る舞う、かくも周囲との相互作用の強い系だという実態が、今後も量子点の多様性として解明されていくに違いない。その際、上述の効用、限界のため、単一量子点分光も、ホールバーニングや共鳴発光などのサイト選択分光も、フォトンエコーも相補的な役割を果たしていくと考える。本研究で明らかにされてきた量子点の永続的ホールバーニング現象も輝尽発光現象も応用される可能性がある。

本稿で引用した筆者のグループの研究は、筑波大学物理学系のスタッフおよび何人かの大学院学生諸氏との共同研究である。また、一部は、S.V. Nair、L. Zimin、杉崎満各博士との共同研究として行われた。これらの各氏の協力について感謝したい。



## 研究発表

### (1) 学会誌等

半導体ナノクリスタルの永続的ホールバーニングメモリーの研究論文

(\*印はこの研究成果報告書に収録)

1)\* L. Zimin, S.V. Nair and Y. Masumoto:

"LO Phonon Renormalization in Optically Excited CuCl Nanocrystals"

Phys. Rev. Lett. 80, 3105 (1998).

2) Y. Masumoto:

"Semiconductor Quantum Dots Behave Like Molecules"

Int. Symp. Similarities and Differences between Atomic-Nuclei and Clusters: Toward a Unified Developments for Cluster Sciences (Tsukuba, 1997); AIP Conf. Proc. 416, AIP, 1998, p.45.

3)\* Y. Masumoto:

"Persistent Spectral-Hole-Burning in Semiconductor Quantum Dots and its Application to Spectroscopy"

Int. Symp. on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (Sapporo, 1998); Jpn. J. Appl. Phys. 38, 570 (1999). //INVITED PAPER//

4) S.V. Nair and Y. Masumoto:

"Exciton-Phonon Interaction and Phonon Frequency Renormalization in Semiconductor Quantum Dots"

Int. Symp. on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (Sapporo, 1998); Jpn. J. Appl. Phys. 38, 581 (1999).

5)\* Y. Masumoto, K. Takemoto, T. Shoji and B.-R. Hyun:

"Homogeneous Optical Spectrum of CdSe Quantum Dots Observed by Accumulated Photon Echo"

Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) VII-B-15, pdf no.1058.

6)\* M. Ikezawa and Y. Masumoto:

"Extremely-Narrow Linewidth of the Confined Excitons in CuCl Quantum Dots"

Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) VII-B-16, pdf no.980.

- 7) S.V. Nair, L. Zimin and Y. Masumoto:  
"Exciton-Phonon Interaction and Phonon Frequency Shift in Quantum Dots"  
Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998)  
VII-B-63, pdf no.463.
- 8)\* B.-R. Hyun, K. Takemoto and Y. Masumoto:  
"Anomalous Temperature Dependence of the Homogeneous Width of CuBr Quantum Dots"  
Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998)  
VII-B-64, pdf no.642.
- 9)\* J. Zhao and Y. Masumoto:  
"Size dependence of confined acoustic phonons in CuCl nanocrystals"  
Phys. Rev. B 60, 4481 (1999).
- 10)\*Y. Masumoto:  
"Quantum Dots Behave like Molecules–Persistent Hole Burning and Luminescence Intermittency in Semiconductor Quantum Dots"  
Butsuri 54, 431 (1999)(in Japanese).
- 11) S.V. Nair and Y. Masumoto:  
"Exciton-exciton and exciton-phonon complexes in semiconductor quantum dots"  
The 5th IUMRS International Conference in Asia-IUMRS-ICA-98, (Bangalore, 1998).
- 12)\* Y. Masumoto and S. Ogasawara:  
"Photostimulated Luminescence of CuCl Quantum Dots in NaCl Crystals"  
Jpn. J. Appl. Phys. 38, L623 (1999).
- 13)\* K. Takemoto, B.-R. Hyun and Y. Masumoto:  
"Heterodyne-detected accumulated photon echo in CdSe quantum dots"  
To be published in Solid State Commun.
- 14)\* M. Ikezawa and Y. Masumoto:  
"Ultrannarrow homogeneous broadening of confined exciton in quantum dots: Effect of the surrounding matrix"  
To be published in Phys. Rev. B.
- 15)\* M. Sugisaki, H.-W. Ren, S.V. Nair, J.-S. Lee, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto:  
"Imaging and single dot spectroscopy of InP self-assembled quantum dots"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter

- (Osaka, 1999) //INVITED PAPER//; to be published in J. Lumin.
- 16)\* B.-R. Hyun, M. Furuya, K. Takemoto and Y. Masumoto:  
"Homogeneous line broadening mechanism of quantum dots"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
(Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 17)\* M. Ikezawa and Y. Masumoto:  
"Observation of homogeneous broadening of confined excitons in CuCl  
quantum dots"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
(Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 18)\* K. Takemoto, B.-R. Hyun and Y. Masumoto:  
"Observation of homogeneous optical spectrum in CdSe quantum dots  
using femtosecond accumulated photon echo"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
(Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 19)\* J.L. Zhao, M. Ikezawa, A.V. Fedorov and Y. Masumoto:  
"Shape-dependent confined excitons and acoustic phonons of CuCl  
nanocrystals embedded in NaCl crystals"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
(Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 20)\* Y. Masumoto and S. Ogasawara:  
"Photostimulated luminescence of quantum dots"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
(Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 21)\* E.A. Zhukov, Y. Masumoto, E.A. Muljarov and S.G. Romanov:  
"Pump-probe studies of photoluminescence of InP quantum wires  
embedded in dielectric matrix"  
Solid State Commun. 112, 575 (1999).

#### その他の論文

- 22) S. Kuroda, Y. Terai, K. Takita, T. Okuno and Y. Masumoto:  
"Self-organized quantum dots of zinc-blende MnTe grown by molecular  
beam epitaxy"  
Proc. 8th Int. Conf. II-VI Compounds (Grenoble, 1997), J. Crys. Growth

184/185, 274 (1998).

- 23) T. Okuno, H.-W. Ren, M. Sugisaki, K. Nishi, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"Time-resolved luminescence of InP quantum dots in a Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P matrix: Carrier injection from the matrix"  
Phys. Rev. B 57, 1386 (1998).
- 24) T. Okuno, H.-W. Ren, M. Sugisaki, K. Nishi, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"Time-Resolved Luminescence Study of InP Quantum Dots in GaInP Matrix"  
Proc. Int. Workshop Nano-Physics and Electronics (Tokyo, 1997),  
Solid-State Electronics 42, 1319 (1998).
- 25) M. Sugisaki, H.-W. Ren, S. Sugou, K. Nishi and Y. Masumoto:  
"Sharp Photoluminescence Lines of InAs Quantum Dot Embedded in GaAs Mesa"  
Proc. Int. Workshop Nano-Physics and Electronics (Tokyo, 1997),  
Solid-State Electronics 42, 1325 (1998).
- 26) A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma, F. Nakamura and M. Ikeda:  
"Localized exciton and its stimulated emission in surface mode from single-layer In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N"  
Phys. Rev. B 57, R2041 (1998).
- 27) T. Mishina, Y. Iwazaki Y. Masumoto and M. Nakayama:  
"Real Time-Sapce Dynamics of Zone-Folded Phonons in GaAs/AlAs Superlattices"  
Solid State Commun. 107, 281 (1998).
- 28) A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma and M. Ikeda :  
"Localized Exciton and Its Stimulated Emission in InGaN Multiple Quantum Wells"  
Proc. Second Int. Conf. Nitride Semiconductors (Tokushima, 1997); J. Crys. Growth, 189/190, 601 (1998).
- 29) H.-W. Ren, K. Nishi, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"Size Quantization in InAs/GaAs Self-Assembled Quantum Dots Grown by Gas-Source Molecular Beam Epitaxy"  
Jpn. J. Appl. Phys. 37, 1548 (1998).
- 30) S. Kuroda, Y. Terai, K. Takita, T. Okuno and Y. Masumoto:  
"Excitonic Luminescence from Self-Organized Quantum Dots of CdTe Grown by Molecular Beam Epitaxy"

- Proc. SSDM'98 (Hiroshima, 1998); Jpn. J. Appl. Phys. 38, 2524 (1999).
- 31) H.-W. Ren, M. Sugisaki, J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"Highly Uniform and Small InP/GaInP Self-Assembled Quantum Dots Grown by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy"  
Jpn. J. Appl. Phys. 38, 507 (1999).
- 32) Y. Masumoto, V. Davydov, I. Ignat'ev, H.-W. Ren and S. Sugou:  
"Observation of Franz-Keldysh Oscillations in InP Self-Assembled Quantum Dot Systems"  
Int. Symp. on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (Sapporo, 1998); Jpn. J. Appl. Phys. 38, 563 (1999).
- 33) T. Matsumoto, H. Mimura, S.V. Nair, N. Koshida and Y. Masumoto:  
"Deep-level energy states in nanostructural porous silicon"  
Int. Symp. on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures, (Sapporo, 1998); Jpn. J. Appl. Phys. 38, 539 (1999).
- 34) T. Matsumoto, G. Arata, S.V. Nair and Y. Masumoto:  
"Effect of Surface Termination on the Electronic States in Nanocrystalline Porous Silicon"  
Int. Symp. on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (Sapporo, 1998); Jpn. J. Appl. Phys. 38, 589 (1999).
- 35) T. Matsumoto, M. Kondo, S.V. Nair and Y. Masumoto:  
"Inverted Staebler-Wronski effect in nanocrystalline silicon"  
J. Non-Crystalline Solids 227-230, 320 (1998).
- 36) K. Prabhakaran, T. Matsumoto, T. Ogino and Y. Masumoto:  
"Fabrication of multiperiod Si/SiO<sub>2</sub>/Ge layered structure through chemical bond manipulation"  
Appl. Phys. Lett. 72, 3169 (1998).
- 37) Y. Masumoto and M. Ikezawa:  
"Control of the Quantum Dot Energy by a Photon: Observation of Two-Exciton and Three-Exciton State in Quantum Dots"  
Ioffe Institute 6th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1998) p.183.
- 38) V. Davydov, I. Ignat'ev, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"Giant Optical Nonlinearity of Heterostructures with InP Self-Assembled Quantum Dots"  
Ioffe Institute 6th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1998) p.200.

- 39) V. Davydov, I. Ignat'ev, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"Observation of Internal Electric Charge in InP Self-Assembled Quantum Dots"  
Ioffe Institute 6th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology"  
(St. Petersburg, 1998) p.218.
- 40) A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma and M. Ikeda:  
"Dynamical Gain Formation Processes in InGaN Multiple Quantum Wells"  
Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) IX-B-10,  
pdf no.595.
- 41) T. Mishina, K. Nitta and Y. Masumoto:  
"Time-Resolved Observation of Coherent Phonons in Graphite"  
Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) II-E-2,  
pdf no.1117.
- 42) M. Sugisaki, H.-W. Ren, K. Nishi, S. Sugo, T. Okuno and Y. Masumoto:  
"Anisotropic Radiative Decay of InP Self-Assembled Quantum Dots"  
Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998)  
VII-B-40, pdf no. 1180.
- 43) T. Matsumoto, H. Mimura, N. Koshida, S.V. Nair and Y. Masumoto:  
"Deep Level Energy States in Nanocrystalline Silicon Determined by  
Space-Charge-Limited-Current Measurements"  
Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998)  
VIII-B-12, pdf no.458.
- 44) H.-W. Ren, M. Sugisaki, J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"MOVPE Growth of Small and Uniform InP/GaInP Quantum Dots"  
Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) III-E-15,  
pdf no.1191.
- 45) I. Ignat'ev, V. Davydov, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"Franz-Keldysh Oscillations in Pump-Probe Spectra of InP Self-Assembled  
Quantum Dots"  
Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998)  
VII-B-42, pdf no.1059.
- 46) V. Davydov, I. Ignat'ev, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"Giant Optical Nonlinearity of Heterostructures with InP Self-Assembled  
Quantum Dots"  
Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998)  
VII-B-58, pdf no.1060.

- 47) H.-W. Ren, M. Sugisaki, S. Sugou, K. Nishi and Y. Masumoto:  
"Indium Segregation and its Influence to the Quantum Structures of InAs/GaAs Self-assembled Quantum Dots"  
J. Surface Analysis 4, 350 (1998).
- 48) Y. Terai, S. Kuroda, K. Takita, T. Okuno and Y. Masumoto:  
"Zero-dimensional excitonic properties of self-organized quantum dots of CdTe grown by molecular beam epitaxy"  
Appl. Phys. Lett. 73, 3757 (1998).
- 49) M. Sugisaki, H.-W. Ren, S.V. Nair, K. Nishi, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto:  
"Optical anisotropy in self-assembled InP quantum dots"  
Phys. Rev. B 59, R5300 (1999).
- 50) T. Matsumoto, H. Mimura, N. Koshida and Y. Masumoto:  
"The density of states in silicon nanostructures determined by space-charge-limited current measurements"  
J. Appl. Phys. 84, 6157 (1998).
- 51) J.-S. Lee, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As quantum dot intermixing and evaporation in GaAs capping layer growth"  
J. Appl. Phys. 84, 6686 (1998).
- 52) J. Qi, T. Matsumoto, M. Tanaka and Y. Masumoto:  
"Electroluminescence of europium silicate thin film on silicon"  
Appl. Phys. Lett. 74, 3203 (1999).
- 53) M. Sugisaki, H.-W. Ren, K. Nishi, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto:  
"Magnetic field effects in InP self-assembled quantum dots"  
Physica B 256-258, 169 (1998).
- 54) T. Matsumoto, Y. Masumoto and N. Koshida:  
"Optical Properties of deuterium terminated porous silicon"  
Materials Research Society Symp, Boston, USA, 1996-12, Proceedings, 452, 499.
- 55) T. Matsumoto, Y. Masumoto and H. Mimura:  
"Luminescence spectral narrowing in porous silicon anodized with monochromatic light"  
Materials Research Society Symp, Boston, USA, 1996-12, Proceedings, 452, 535.
- 56) T. Matsumoto, Y. Masumoto and N. Koshida:

"Reduction of luminescence degradation using deuterium terminated porous silicon"

191st Meeting of Electrochemical Society, Montreal, Canada, 1997-05.

57) M. Sugisaki, H.-W. Ren, S. Sugou, K. Nishi, T. Okuno and Y. Masumoto:

"Optical anisotropy in InP quantum dots"

Workshop on naval research laboratory, Recent advances in the physics of single quantum dots, Washington DC, USA, 1997-07, Proceedings, 32.

58) H.-W. Ren, M. Sugisaki, S. Sugou and Y. Masumoto:

"Recombination processes in InAs/GaAs self-assembled single quantum dots"

Materials Research Society 1997 Fall Meeting, Boston, USA, 1997-12.

59) T. Matsumoto, Y. Masumoto and N. Koshida:

"Photo- and electro-luminescence from deuterium terminated porous silicon"

Materials Research Society 1997 Fall Meeting, Boston, USA, 1997-12.

60) T. Matsumoto, M. Kondo and Y. Masumoto:

"Reduction of neutral dangling bond density by light soaking in nanocrystalline silicon"

1998 Material Research Society Spring Meeting, San Francisco, USA, 1998-04.

61) T. Matsumoto and Y. Masumoto:

"Electroluminescence from deuterium terminated porous silicon"

Int. Workshop on the Deuterium and Isotope Effects in Semiconductors, Urbana, USA, 1998-04.

62) T. Okuno, H.-W. Ren, M. Sugisaki, K. Nishi, S. Sugou and Y. Masumoto:

"Temperature Dependence of Luminescence Decay Time of InP Quantum Disks"

Jpn. J. Appl. Phys. 38, 1094 (1999); Proc. 10th Int. Conf. on InP and related Materials (Tsukuba, 1998).

63) K. Prabhakaran, T. Ogino, T. Matsumoto and Y. Masumoto:

"Multiperiod Si/SiO<sub>2</sub>/Ge layered structure formation through chemical bond manipulation"

European Materials Research Society 1998 Spring Meeting, (Strasbourg, 1998).

64) M. Sugisaki, H.-W. Ren, K. Nishi, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto:

"Magnetic field effects in self-assembled quantum dots"



- 13rd Int. Conf. on High Magnetic Fields in Semiconductor Physics, (Nijmegen, 1998).
- 65) H.-W. Ren, M. Sugisaki, S. Sugou, K. Nishi, A. Gomyo and Y. Masumoto:  
 "Lateral Composition Modulation Induced Optical Anisotropy in InP/GaInP Quantum Dot System"  
 1998 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, (Hiroshima, 1998),  
 Jpn. J. Appl. Phys. **38**, 2438 (1999).
- 66) T. Matsumoto, S.V. Nair and Y. Masumoto:  
 "Isotope energy shift of luminescence in hydrogen-and deuterium-terminated porous silicon"  
 The 5th IUMRS International Conference in Asia-IUMRS-ICA-98, (Bangalore, 1998).
- 67) M. Sugisaki, H.-W. Ren, S.V. Nair, S. Sugou, K. Nishi, T. Okuno and Y. Masumoto:  
 "Fine splitting in the optical spectra of InP self-assembled single quantum dot"  
 3rd International Conf. of Excitonic Processes in Condensed Matter/5th Int. Symp. on Quantum Confinement, (Boston, 1998).
- 68) H.-W. Ren, M. Sugisaki, J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto:  
 "Structural and optical anisotropy of InP/GaInP quantum dots grown by MOVPE"  
 3rd International Conf. of Excitonic Processes in Condensed Matter/5th Int. Symp. on Quantum Confinement, (Boston, 1998).
- 69) E. Tokunaga, A.L. Ivanov, S.V. Nair and Y. Masumoto:  
 "Inverse exciton series in the optical decay of an excitonic molecule"  
 Phys. Rev. B **59**, R7837 (1999).
- 70) T. Matsumoto, J. Qi, Y. Masumoto, H. Mimura and N. Koshida:  
 "Determination of localized states in porous silicon"  
 J. Lumin. **80**, 203 (1999).
- 71) J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto:  
 "Real-time observation of ellipsometry oscillation during GaAs layer by layer growth by metalorganic vapor-phase epitaxy"  
 Jpn. J. Appl. Phys. **38**, L614 (1999).
- 72) T. Matsumoto, H. Mimura, N. Koshida and Y. Masumoto:  
 "Deep level energy states in porous silicon and porous silicon carbide determined by space-charge-limited current measurements"

- Appl. Surf. Science 142, 569 (1999).
- 73) A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma and M. Ikeda:  
 "Two-dimensional exciton dynamics and gain formation processes in  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  multiple quantum wells"  
 Phys. Rev. B 60, 16660 (1999).
- 74)\*M. Takahashi, Y. Toriumi, T. Matsumoto, Y. Masumoto and N. Koshida:  
 "Characteristics of Silicon-based Optical Resonators and Waveguides—Fabrication of porous silicon optical devices by refractive index controllable nature—"  
 Technical Report of IEICE. LQE 99-17, 7 (1999).
- 75) V. Davydov, I. Ignatiev, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
 "Observation of built-in electric field in InP self-assembled quantum dot systems"  
 Appl. Phys. Lett. 74, 3002 (1999).
- 76) I.E. Kozin, I.V. Ignatiev, S. Nair, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
 "LO Phonon mediated relaxation in InP self assembled quantum dots in electric field"  
 Ioffe Institute 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.24.
- 77) H.-W. Ren, S. Sugou, Y. Masumoto, I. Ignatiev and I. Kozin:  
 "Cold anti-Stokes photoluminescence of InP self-assembled quantum dots in the presence of electric current"  
 Ioffe Institute 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.54.
- 78) V. Davydov, I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, J.-S. Lee, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
 ""Unusual" temperature behavior for the photoluminescence of the InP and InGaAs quantum dots under quasiresonance excitation"  
 Ioffe Institute 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.46.
- 79) Yu.K. Dolgikh, S.A. Eliseev, I.Ya. Gerlovin, V.V. Ovsyankin, Yu.P. Efimov, I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, V.V. Petrov, V. Pantukhin and Y. Masumoto:  
 "Luminescence of HH-excitons in GaAs/GaAlAs superlattices under resonant excitation"  
 Ioffe Institute 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.412.

- 80) I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"Anti-Stokes photoluminescence of InP self-assembled quantum dots in the presence of electric current"  
Phys. Rev. B 60, R14001 (1999).
- 81) J. Qi, T. Matsumoto, M. Tanaka and Y. Masumoto:  
"White color electroluminescence of europium silicate thin film"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 82) S. Nair and Y. Masumoto:  
"Coulomb effects in the optical spectra of highly excited semiconductor quantum dots"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 83) I. Kozin, I. Ignatiev, S. Nair, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"LO phonon resonances in photoluminescence spectra of InP self assembled quantum dots in electric field"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 84) M. Tanaka, J. Qi and Y. Masumoto:  
"Comparison of energy levels of  $Mn^{2+}$  in nanosized and bulk-ZnS crystals"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 85) I. Ignatiev, I. Kozin, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
"Photo and electric-current-induced anti-Stokes photoluminescence of InP self assembled quantum dots"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 86) E. Tokunaga, A.L. Ivanov, S. Nair and Y. Masumoto:  
"Inverse exciton series for observation of bipolariton coupling"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 87) T. Okuno, A.A. Lipovskii, T. Ogawa, I. Amagai and Y. Masumoto:  
"Strong confinement of PbSe and PbS quantum dots"  
Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 88) A.V. Baranov, S. Yamauchi and Y. Masumoto:

- "Softening of the LO phonons in excited state of CuCl nanocrystals"  
 Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
 (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 89) A.V. Baranov, V. Davydov, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:  
 "Phonon-enhanced intraband transitions in InAs self-assembled quantum  
 dots"  
 Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
 (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 90) I.Ya. Gerlovin, Yu.K. Dolgikh, Yu.P. Efimov, S.A. Eliseev, I.V. Ignatev, I.E.  
 Kozin, Y. Masumoto, V.V. Ovsyankin, V.V. Petrov and V. Pantukhin:  
 "Nonequilibrium luminescence of excitons in the GaAs/GaAlAs  
 superlattices under resonance excitation"  
 Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
 (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 91) I.V. Ignatiev, V. Davydov, I.E. Kozin, J.-S. Lee, H.-W. Ren, S. Sugou and Y.  
 Masumoto:  
 ""Unusual" temperture behavior of the photoluminescence of the InP and  
 InGaAs quantum dots under quasiresonant excitation"  
 Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
 (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 92) J. Qi, M. Tanaka and Y. Masumoto:  
 "Tempertature dependent luminescence of europium aggregates in NaCl"  
 Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
 (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 93) M. Tanaka, J. Qi and Y. Masumoto:  
 "Luminescence properties of  $Mn^{2+}$  doped into CdS nanocrystals in  
 polymer"  
 Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter  
 (Osaka, 1999); to be published in J. Lumin.
- 94) E.A. Muljarov, E.A. Zhukov, V.S. Dneprovskii and Y. Masumoto:  
 "Dielectrically enhanced excitons in semiconductor-insulator quantum  
 wires: theory and experiment"  
 Submitted to Phys. Rev. B.
- 95) J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto:  
 "Spontaneous nanostructure formation on GaAs(211)B substrate"  
 J. Crystal Growth 205, 467 (1999).

96) N. Tsurumachi, M. Abe, M. Arakawa, T. Yoda, T. Hattori, J. Qi, Y. Masumoto and H. Nakatsuka:

"Time Response of One-Dimensional Photonic Crystals with a Defect Layer Made of Semiconductor Quantum Dots"

Jpn. J. Appl. Phys. **38**, L1400 (1999).

97) A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma and T. Hino:

"Ultraviolet anti-Stokes photoluminescence in  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  quantum well structures"

To be published in Phys. Rev. B.

98) T. Okuno, Y. Masumoto, M. Ito and H. Okamoto:

"Large optical nonlinearity and fast response time in low-temperature grown GaAs/AlAs multiple quantum wells"

Submitted to Appl. Phys. Lett.

99) 舛本泰章 :

半導体素粒子 (「メソスコピック伝導」実験物理科学シリーズ 4、田沼静一、家泰弘編、共立出版、1999)

100) 舛本泰章 :

ナノ結晶のレーザー分光 (「レーザー測定」丸善実験物理学講座 9 巻、櫛田孝司編、丸善、 )

101) Y. Masumoto:

"Luminescence of low-dimensional systems", in *Phosphor Handbook* ed. S. Shionoya and W.M. Yen, p.71 (CRC Press, 1998).

#### 特許出願

[1] 舛本泰章 : 「輝尽性発光素子及びその製造方法」 1999.2.2 出願

[2] 舛本泰章 : 「アップ・コンバージョン素子」 2000.1.17 出願

#### (2)口頭発表

#### 主な招待講演

1) Y. Masumoto:

"Persistent Spectral-Hole-Burning in Semiconductor Quantum Dots and its Application to Spectroscopy"

Int. Symp. on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (Sapporo, 1998); Jpn. J. Appl. Phys.38, 570 (1999). //INVITED PAPER//

2) Y. Masumoto:

"Semiconductor Quantum Dots Behave Like Molecules"

Int. Symp. Similarities and Differences between Atomic-Nuclei and Clusters: Toward a Unified Developments for Cluster Sciences (Tsukuba, 1997); AIP Conf. Proc. 416, AIP, 1998, p.45.

3) M. Sugisaki, H.-W. Ren, S.V. Nair, J.-S. Lee, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto:

"Imaging and single dot spectroscopy of InP self-assembled quantum dots"

Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999) //INVITED PAPER//; to be published in J. Lumin.

#### その他の口頭発表

- 1) V. Davydov, I. Ignatev, H.-W. Ren, S. Sugou, Y. Masumoto: "Electric charge of self-assembled InP quantum dots detected by Franz-Keldysh oscillations" 日本物理学会 (1998 年 4 月)
- 2) 寺井慶和、黒田眞司、滝田宏樹、奥野剛史、舛本泰章: "MBE 法における CdTe 自己組織化量子ドットの作製とその光物性" 日本物理学会 (1998 年 4 月)
- 3) 任紅文、徳永英司、西研一、菅生繁雄、奥野剛史、舛本泰章: "自己形成型量子点における磁場効果" 日本物理学会 (1998 年 4 月)
- 4) 佐竹昭泰、舛本泰章、宮嶋孝夫、朝妻庸紀、中村文彦、池田昌夫: "InGaN 多重量子井戸における局在励起子誘導放出" 日本物理学会 (1998 年 4 月)
- 5) 戚継発、松本貴裕、田中正規、舛本泰章: "Si ナノクリスタルにおける発光分光研究" 日本物理学会 (1998 年 3 月)
- 6) S. Nair, Y. Masumoto: "Lattice dynamics of semiconductor nanocrystals" 日本物理学会 (1998 年 3 月)
- 7) 山内掌吾、舛本泰章: "CuCl 量子点の共鳴 2 光子分光 II" 日本物理学会 (1998 年 3 月)
- 8) 池沢道男、三品具文、舛本泰章: "NaCl 中の CuCl 量子点におけるフォトンエコー II" 日本物理学会 (1998 年 3 月)
- 9) 玄柄律、竹本一矢、舛本泰章: "CuI, CuBr 量子点における蓄積フォトンエコー" 日本物理学会 (1998 年 3 月)

- 10) 竹本一矢、庄司卓矢、舛本泰章：“CdSe 及び CdTe 量子点における蓄積フォトンエコー” 日本物理学会（1998 年 3 月）
- 11) 松浦直紀、田中正規、セルバクマール・ナイア、舛本泰章：“量子ドット中ドナーの電子状態と光学特性” 日本物理学会（1998 年 3 月）
- 12) 新田一樹、三品具文、舛本泰章：“グラファイトにおけるフェムト秒ポンプ・プローブ分光Ⅱ” 日本物理学会（1998 年 4 月）
- 13) 徳永英司、A. L. イワノフ、セルバクマール・ナイア、舛本泰章：“CuCl 励起子逆系列発光による励起子分子波動関数の決定” 日本物理学会（1998 年 4 月）
- 14) 三品具文、舛本泰章：“フェムト秒光パルス列を用いたコヒーレントフォノンの研究Ⅱ” 日本物理学会（1998 年 4 月）
- 15) 松本貴裕、舛本泰章、三村秀典、越田信義：“空間電荷制限電流法によるポーラスシリコンのギャップ内準位の測定” 応用物理学会（1998 年 3 月）
- 16) 荒田剛、奥野剛史、松本貴裕、S. V. Nair、杉崎満、徳永英司、舛本泰章：“単色光照射により作製した重水素終端ポーラスシリコンの光学的性質” 応用物理学会（1998 年 3 月）
- 17) 成継発、松本貴裕、田中正規、舛本泰章：“Eu ドープシリコン微粒子からの緑色発光” 応用物理学会（1998 年 3 月）
- 18) 佐竹昭泰、舛本泰章、宮嶋孝夫、朝妻庸紀、池田昌夫：“InGaN 多重量子井戸における励起子のダイナミクス” 応用物理学会（1998 年 3 月）
- 19) 任紅文、杉崎満、徳永英司、菅生繁雄、奥野剛史、舛本泰章：“InP 量子点における光学異方性—時間分解発光スペクトル—” 応用物理学会（1998 年 3 月）
- 20) 奥野剛史、任紅文、杉崎満、西研一、菅生繁雄、舛本泰章：“InP 量子点の発光寿命の温度依存” 応用物理学会（1998 年 3 月）
- 21) V. Davydov, I. Ignatev, H.-W. Ren, S. Sugou, Y. Masumoto: “On the nature of carrier traps in InP quantum dots” 応用物理学会（1998 年 3 月）
- 22) 佐竹昭泰、舛本泰章、宮嶋孝夫、朝妻庸紀、池田昌夫：“InGaN 多重量子井戸における励起子のダイナミクスⅡ” 応用物理学会（1998 年 9 月）
- 23) S.V. Nair、舛本泰章：“Many body effects in the optical spectra of semiconductor quantum dots” 日本物理学会（1998 年 9 月）
- 24) 任紅文、杉崎満、李定植、菅生繁男、舛本泰章：“Polarization dependence of radiative decay time in InP quantum dots” 日本物理学会（1998 年 9 月）
- 25) 玄柄律、竹本一矢、舛本泰章：“CuBr 量子点における蓄積フォトンエコーⅡ” 日本物理学会（1998 年 9 月）
- 26) 三品具文、舛本泰章：“フェムト秒光パルス列を用いたコヒーレントフォノンの研究

Ⅲ”日本物理学会(1998年9月)

- 27) 新田一樹、三品具文、舛本泰章: “グラファイトにおけるフェムト秒ポンプ・プローブ分光法Ⅲ”日本物理学会(1998年9月)
- 28) 雨貝勇、舛本泰章: “PbS 量子ドットの光スペクトル” 日本物理学会(1998年9月)
- 29) 竹本一矢、(庄司卓矢)、舛本泰章: “CdSe 量子点における蓄積フォトンエコーⅡ” 日本物理学会(1998年9月)
- 30) 趙家龍、舛本泰章: “永続的ホールバーニング分光による CuCl ナノクリスタルに閉じ込められた音響フォノンの精密測定” 日本物理学会(1998年9月)
- 31) 杉崎満、任紅文、李定植、菅生繁男、奥野剛史、舛本泰章: “自己形成型 InP 量子点における発光の顕微イメージ”日本物理学会(1999年3月)
- 32) 任紅文、奥野剛史、西林一彦、李定植、菅生繁男、舛本泰章: “Photoluminescence of strain-induced InGaAs/GaAs coupled quantum dot-pairs” 日本物理学会(1999年3月)
- 33) 玄柄律、古谷雅、池沢道男、舛本泰章: “CuBr 量子点における蓄積フォトンエコーⅢ”日本物理学会(1999年3月)
- 34) 舛本泰章、小笠原清太郎: “量子ドットの輝尽発光”日本物理学会(1999年3月)
- 35) A.A. Lipovskii、小川智康、雨貝勇、舛本泰章: “PbSe 量子点における光スペクトル”日本物理学会(1999年3月)
- 36) 徳永英司、A.L. イワノフ、セルバクマールナイア、舛本泰章: “CuCl 励起子逆系列発光による励起子分子波動関数の決定Ⅲ”日本物理学会(1999年3月)
- 37) S.V. Nair, Y. Masumoto: “Undressing of polarons during exciton formation: The case of CuCl” 日本物理学会(1999年3月)
- 38) S.V. Nair, Y. Masumoto: “Electronic structure of strain-induced coupled quantum dots” 日本物理学会(1999年9月)
- 39) 荒川真理子、中司豊、鶴町徳昭、戚継発、服部利明、舛本泰章、中塚宏樹: “半導体量子ドットを欠陥層とする一次元フォトニッククリスタルの高速時間応答” 日本物理学会(1999年9月)
- 40) 竹本一矢、舛本泰章: “CdSe 量子点における電子・正孔の緩和ダイナミクス” 日本物理学会(1999年9月)
- 41) 三品具文、舛本泰章: “グラファイトにおけるコヒーレントフォノンの研究” 日本物理学会(1999年9月)
- 42) 徳永英司、A.L. イワノフ、セルバクマールナイア、舛本泰章: “励起子逆系列発光による励起子分子波動関数の決定Ⅳ” A.L. イワノフ、セルバクマールナイア、舛本泰章:
- 43) 薄倉淳子、鈴木宜之、ナイア セルバクマール、徳永英司、舛本泰章: “確率論的変分法を用いた励起子分子の光学発光強度の計算” 日本物理学会(1999年



9 月)

- 44) 趙家龍、池沢道男、舛本泰章: “CuCl 量子点における励起子状態の微細構造” 日本物理学会(1999 年 9 月)
- 45) I.E. Kozin, I.V. Ignatiev, S.V. Nair, H.-W. Ren, 菅生繁男、舛本泰章: “InP 量子点におけるフォノンボトルネック効果” 日本物理学会(1999 年 9 月)
- 46) 西林一彦、舛本泰章、三品具文、奥野剛史、任紅文、セルバクマール・ナイア、菅生繁男: “InP Stressor により量子井戸に形成される GaAs 量子ドット” 日本物理学会(1999 年 9 月)
- 47) 杉崎満、任紅文、李定植、S.V. ナイア, 菅生繁男、奥野剛史、舛本泰章: “自己形成型 InP 量子点における発光の明滅現象” 日本物理学会(1999 年 9 月)
- 48) 徳永英司、舛本泰章: “マルチチャンネルダブルロックインによる単一粒子・2次元分光” 日本物理学会(1999 年 9 月)
- 49) 松本貴裕、舛本泰章、鈴木淳市、大沼正人: “X 線小角散乱および中性子小角散乱を用いた PS の構造評価と光学的性質” 応用物理学会(1999 年 9 月)
- 50) 宮嶋孝夫、佐竹昭泰、日野智公、徳永英司、舛本泰章、池田昌夫: “GaN 膜における貫通転位の振る舞い(3) - 発光再結合寿命の測定 -” 応用物理学会(1999 年 9 月)
- 51) 李定植、菅生繁男、舛本泰章: “MOVPE 成長中のエリプソメトリ信号におけるモレイヤ振動” 応用物理学会(1999 年 9 月)
- 52) 任紅文、セルバクマール・ナイア、李定植、菅生繁男、舛本泰章: “Electronic coupling in strain-induced InGaAs/GaAs quantum dot-pairs” 応用物理学会(1999 年 9 月)

以下の頁は著作権者の許諾を得ていない  
ため、公表できません。

p.     $\sim$ p.

p.     $\sim$ p.

p.     $\sim$ p.

p.     $\sim$ p.

p.     $\sim$ p.